

ANALISIS STATISTIK TEMPORAL ERUPSI GUNUNG MERAPI

Desi Kiswiranti^{1,*} and H Kirbani S. B²

¹Jurusan Fisika, Universitas Gadjah Mada,
Yogyakarta

Email: dessy.wiranti@yahoo.com or kirbani@yahoo.com

Abstrak

Merapi adalah gunungapi termuda di selatan Pulau Jawa. Merapi terletak di $7^{\circ}32'30''\text{LS}$ dan $110^{\circ}26'30''\text{BT}$. Gunung Merapi merupakan gunung api strato yang aktif sampai hari ini. Aktivitas gunung Merapi dimulai pada zaman Pleistosen (1,5 juta tahun yang lalu). Gunung Merapi ini memiliki potensi untuk menimbulkan bencana alam dengan intensitas dan kekuatan yang berbeda. Aktivitas vulkanik adalah kejadian alam yang sulit diprediksi dan dapat dianggap sebagai *chaotic* tanpa bentuk yang jelas. Metode statistik dapat diterapkan untuk menjelaskan pola letusan gunungapi serta membantu ramalan aktifitas letusan gunungapi di masa depan. Dalam penelitian ini, digunakan tiga metode statistik temporal yaitu distribusi eksponensial, distribusi Weibull dan distribusi Log-Logistik. Secara umum, distribusi Log-Logistik memberikan probabilitas tertinggi letusan yang terjadi dalam waktu tertentu di masa depan dengan tingkat kepercayaan 95%. Pada tahun 2013, probabilitas gunung Merapi untuk meletus sebesar 64,04%. Secara kualitatif, letusan terbesar akan mengikuti interval waktu istirahat terpanjang. Besarnya waktu istirahat tidak berpengaruh pada besarnya VEI serta tidak berpengaruh terhadap kemungkinan terjadinya letusan. Rata-rata energi potensial pada erupsi gunung Merapi periode 1800-2012 sebesar $9,99039 \times 10^{20}$ ergs dan rata-rata energi termal periode 1800-2012 sebesar $4,31282 \times 10^{22}$ ergs. Oleh karena itu, energi total letusan gunung Merapi sebesar $4,41272 \times 10^{22}$ ergs.

Kata kunci: distribusi eksponensial, distribusi log-logistik, distribusi Weibull, *repose time*, VEI.

PENDAHULUAN

Gunung Merapi (Gambar 1) memiliki ketinggian 2986 m di atas permukaan laut. Gunung ini terletak di perbatasan empat kabupaten yaitu Kabupaten Sleman, Provinsi DI Yogyakarta dan Kabupaten Magelang, Kabupaten Boyolali dan Kabupaten Klaten serta Provinsi Jawa Tengah. Posisi geografisnya terletak pada $7^{\circ}32'30''\text{LS}$ dan $110^{\circ}26'30''\text{BT}$.

Berdasarkan tatanan tektoniknya, gunung ini terletak pada zona subduksi, dimana lempeng Indo-Australia menunjam di bawah lempeng Eurasia yang mengontrol vulkanisme di Sumatra, Jawa, Bali dan Nusa Tenggara. Gunung Merapi muncul di bagian Selatan dari jajaran gunungapi di Jawa Tengah mulai dari utara ke selatan yaitu Ungaran-Telomoyo-Merbabu-Merapi dengan arah $N165^{\circ}\text{E}$.



Gambar 1. Morfologi gunung Merapi (sumber : <http://id-wal.com/gunung-merapi-erupsi.html>)

Kelurusan ini merupakan sebuah patahan yang berhubungan dengan retakan akibat tektonik yang mendahului vulkanisme di Jawa Tengah. Aktivitas vulkanisme ini bergeser dari arah utara ke selatan, dimana gunung Merapi merupakan gunungapi yang paling muda.

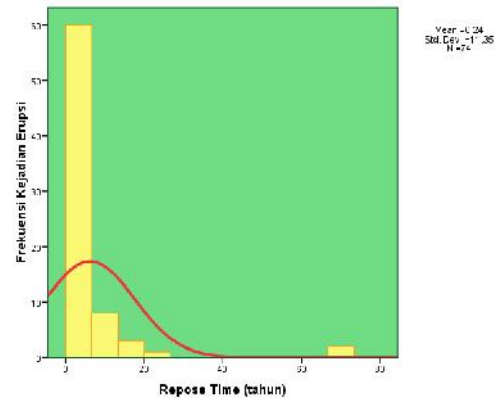
TINJAUAN GEOLOGI GUNUNG MERAPI

Secara geologi, Gunung Merapi terbagi dalam empat periode yaitu Pra Merapi, Merapi Tua, Merapi Muda dan Merapi Baru. Periode pertama adalah Pra Merapi yang dimulai sejak sekitar 700.000 tahun lalu yang menyisakan gunung Bibi (2025 m dpl) di lereng timur laut gunung Merapi. Gunung Bibi memiliki lava yang bersifat *basaltic andesit*. Periode kedua (Merapi Tua) menyisakan bukit Turgo dan Plawangan yang telah berumur antara 60.000 sampai 8.000 tahun. Saat ini kedua bukit tersebut mendominasi morfologi lereng selatan gunung Merapi.

Pada periode ketiga yaitu periode Merapi Muda beraktivitas antara 8.000 sampai 2.000 tahun yang lalu. Di masa itu, terjadi beberapa lelehan lava andesitik yang menyusun bukit Batulawang dan Gajahmungkur yang sekarang tampak di lereng utara gunung Merapi serta menyisakan kawah Pasar Bubar. Periode keempat aktivitas Merapi yang sekarang ini disebut Merapi Baru, dimana terbentuk kerucut puncak Merapi yang sekarang ini disebut sebagai gunung Anyar di bekas kawah Pasar Bubar dimulai sekitar 2000 tahun yang lalu (Badan Geologi, 1979).

ANALISIS RUNTUN WAKTU ERUPSI GUNUNG MERAPI

Berdasarkan data yang tercatat sejak tahun 1600-an, gunung Merapi meletus lebih dari 80 kali atau rata-rata sekali meletus dalam 4 tahun (Badan Geologi, 1979). Waktu istirahat (*repose time*) berkisar antara 1-71 tahun. Variasi waktu istirahat erupsi ini pada umumnya proporsional dengan tingkat energi pada erupsi yang mengikutinya. Jika waktu istirahat antar erupsi pendek, maka biasanya energi pada erupsi yang mengikutinya juga kecil, sebaliknya apabila waktu istirahatnya panjang, maka energi dari erupsi yang mengikutinya juga besar (Kirbani dan Wahyudi, 2007). Gambar 2 adalah histogram yang menunjukkan runtun waktu dari waktu istirahat (*repose time*) gunung Merapi mulai tahun 1548 hingga 2010.



Gambar 2. Histogram *repose time* erupsi gunung Merapi.

Dari histogram diatas, rata-rata *repose time* erupsi gunung Merapi sebesar 6,24 tahun. Hal ini bukan berarti bahwa setiap 6 tahun dapat terjadi erupsi.

Tabel 1. Statistik *repose time* erupsi gunung Merapi.

Statistics		
Repose		
N	Valid	74
	Missing	0
Mean		6.24
Std. Deviation		11.350
Variance		128.817
Skewness		4.817
Std. Error of Skewness		.279
Kurtosis		24.980
Std. Error of Kurtosis		.552

Berdasarkan tabel 1, ukuran *skewness* (kemencengan) adalah 4,817, maka rasio *skewness* adalah 17,26 sedangkan ukuran *kurtosis* adalah 24,98, maka rasio *kurtosis* adalah 45,254. Secara statistik, distribusi runtun waktu erupsi gunungapi dapat dinyatakan sebagai mempunyai distribusi eksponensial (Wickmann, 1965),

$$N(\lambda, \tau) = N_0(e^{-\lambda\tau}) \quad (1)$$

dengan,

N = Cacah erupsi yang mempunyai waktu istirahat lebih lama dari pada t .

N_0 = Cacah erupsi yang mempunyai waktu istirahat lebih lama dari pada 0 tahun.

τ = Waktu istirahat.

λ = Koefisien atenuasi eksponensial.

Nilai λ untuk erupsi gunung Merapi sebesar 0,1603/tahun. Distribusi statistik eksponensial (1) mempunyai nilai menengah (T , *mean value*) $1/\lambda$, dalam hal runtun waktu erupsi gunungapi dapat disebut juga sebagai waktu istirahat erupsi rerata. T untuk gunung Merapi dengan $\lambda = 0,1603$ /tahun menjadi sebesar 6,24 tahun. Ini tidak berarti bahwa setiap 6,24 tahun selalu terjadi erupsi, jadi salah apabila T ini dikatakan sebagai periode ulang. Gejala kejadian yang mempunyai distribusi statistik eksponensial Poissonian pada dasarnya adalah gejala yang bersifat acak (*random*).

Runtun waktu erupsi gunungapi mempunyai Fungsi Densitas Kebolehjadian (PDF, *Probability Density Function*, Wickmann, 1966) tidak terjadinya erupsi,

$$\text{PDF Tidak Erupsi } (\tau) = \lambda \tau (e^{-\lambda \tau}) \quad (2)$$

Fungsi PDF Tidak Erupsi (τ, t) ini dapat dikategorikan sebagai fungsi distribusi statistik Poissonian. Fungsi PDF terjadinya erupsi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{PDF Erupsi } (\tau) = 1 - \lambda \tau (e^{-\lambda \tau}) \quad (3)$$

Berdasarkan tabel 2, gunung Merapi mempunyai $\lambda = 2$ tahun sehingga mempunyai kebolehjadian erupsi sebesar 76,74 %.

Berdasarkan angka kebolehjadian terjadinya erupsi gunung Merapi saat ini adalah 76,74 %, maka saat ini ada nilai resiko yang harus ditanggung (*value at risk*) yang tidak dapat diabaikan kemungkinan terjadinya, sehingga tidak ada jalan lain kecuali harus ada tindakan mitigasi yang meminimumkan dampak negatif akibat erupsi gunung Merapi ini.

Tabel 2. Probabilitas erupsi gunung Merapi

Distribusi	Probabilitas erupsi (2013)
Eksponensial	76,74 %
Weibull	63,5 %
Log-Logistik	64,04 %

Distribusi Weibull

Analisis Weibull dari waktu istirahat (*repose time*) yang memungkinkan deskripsi kuantitatif, stasioner dan non-stasioner deret waktu melalui bentuk distribusi parameter. Uji kebebasan waktu diterapkan pada bagian-bagian dari deret yang diasumsikan, tidak menjamin bahwa seluruh deret telah stasioner. Distribusi Weibull biasa digunakan dalam analisis kegagalan dan keberhasilan diterapkan pada berbagai gunungapi (Ho, 1991; Bebbington dan Lai, 1996a, b; Watt et al, 2007.)

$$S_{WB}(t) = \exp\{-(\lambda t)^{\alpha}\} \quad (4)$$

di mana α adalah parameter daya, biasanya disebut sebagai "parameter bentuk". Untuk $\alpha = 1$, distribusi Weibull (3.7) meliputi distribusi eksponensial sebagai kasus khusus, tetapi juga mengakomodasi kemungkinan meningkatkan atau menurunkan tingkat bahaya jika $\alpha > 1$ atau $\alpha < 1$. Pada tahun 2013, gunung Merapi mempunyai probabilitas erupsi sebesar 63,5 % (Tabel 2).

Distribusi Log-Logistik

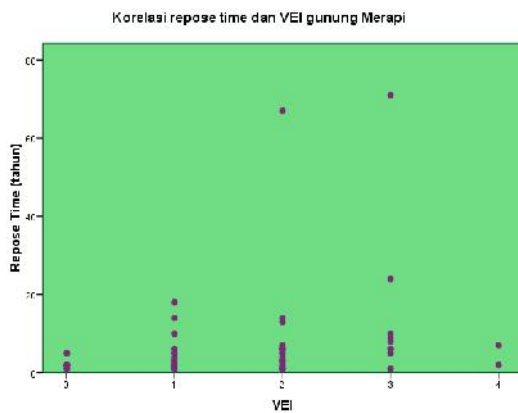
Suatu parameter tertentu dapat meningkatkan (3.8) kemungkinan letusan, sementara parameter yang lainnya akan menyebabkan penurunan probabilitas letusan. Faktor yang mempengaruhi tersebut dapat dirumuskan dengan distribusi log-logistik (Dzierma dan Wehrmann, 2010) :

$$S_{log}(t) = \frac{1}{1+(t/b)^{\alpha}} = \frac{1}{1+(\lambda t)^{\alpha}} \quad (5)$$

yang mencakup parameter skala b serta parameter bentuk α . Pada tahun 2013, gunung Merapi mempunyai probabilitas erupsi sebesar 64,04 %.

Uji Korelasi Repose Time dengan VEI

Secara kualitatif, letusan terbesar akan mengikuti interval waktu istirahat terpanjang yaitu lebih besar dari 100 tahun (Simkin dan Siebert 1984, 1994). Variasi waktu istirahat pada umumnya sebanding dengan tingkat energi letusan yang mengikutinya. Apabila waktu istirahat antar erupsi pendek, biasanya energi pada erupsi yang mengikutinya juga kecil, sebaliknya apabila waktu istirahatnya panjang maka energi dari erupsi yang mengikutinya juga besar. Hal ini diakibatkan oleh adanya penimbunan energi dalam waktu yang relatif lama. Waktu istirahat dan besarnya letusan selama proses erupsi secara mendasar berbeda karena perilaku pengendali selama tahap pertumbuhan aktif suatu gunungapi cenderung mempunyai waktu istirahat yang lama. Korelasi *repose time* dan VEI gunung Merapi ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Korelasi *repose time* dan VEI gunung Merapi.

Untuk mengetahui lebih lanjut tentang korelasi antara *repose time* dengan VEI di Sumatra dilakukan uji korelasi dengan menggunakan software SPSS.

Tabel 3. Hasil uji korelasi *repose time* dan VEI gunung Merapi

	R	Sig. (2-tailed)
VEI	0,21	0,072
Repose Time	0,21	0,072

Menurut tabel 3, signifikansi hasil korelasi antara *repose time* dengan VEI besarnya 0,072 ($> 0,05$) maka H_0 diterima. Hal ini menunjukkan bahwa ternyata pada gunung Merapi besarnya

repose time tidak berpengaruh terhadap VEI. Koefisien korelasi antara *repose time* dan VEI adalah positif, yang berarti bahwa semakin besar *repose time* maka indeks VEI semakin besar. Koefisien korelasi besarnya adalah 0,21 yang nilainya jauh lebih kecil dari 1 (koefisien korelasi sempurna). Hal ini menunjukkan lemahnya hubungan kedua variabel tersebut. Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa pada gunung Merapi *repose time* tidak berpengaruh terhadap VEI. Hal ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor lainnya seperti perbedaan komposisi kimia baik sebelum dan setelah letusan, topografi, morfologi, karakteristik gunungapi dsb.

Energi Potensial dan Energi Thermal Erupsi Gunung Merapi Periode 1800-2012

Yokoyama (1956) memperkirakan energi pada saat letusan gunungapi terbagi dalam berbagai bentuk seperti energi potensial dan energi thermal. Energi potensial diwakili oleh perubahan tingkat lava pada lubang/vent gunungapi selama terjadi letusan. Energi letusan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E_p = mgh \quad (6)$$

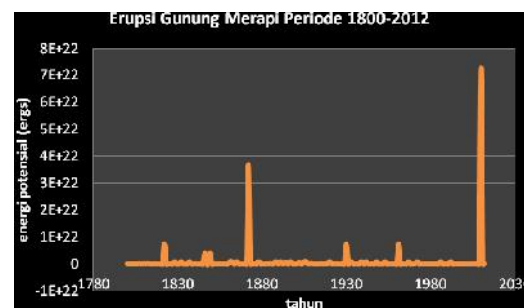
dimana :

E_p = energi potensial (Joule)

m = total massa material hasil erupsi (kg)

g = percepatan gravitasi bumi (m/s^2)

h = tinggi kolom asap saat letusan (m)



Gambar 4. Erupsi gunung Merapi periode 1800-2012.

Selama periode erupsi tahun 1800-2012, gunung Merapi mengeluarkan energi potensial sebesar $9,99039 \times 10^{20}$ ergs. Gambar 4 menunjukkan periodisasi erupsi gunung Merapi

dari tahun 1800-2012. Pada gambar 4, terlihat pola erupsi gunung Merapi.

Energi thermal diwakili oleh kuantitas panas lava dan gas dari fragmen masing-masing gunungapi. Persamaan yang digunakan oleh Yokoyama untuk suhu tinggi $> 1000^{\circ}\text{C}$ sebagai berikut :

$$E_{th} = V\sigma(T\alpha + \beta)J \quad (7)$$

dimana :

E_{th} = energi thermal

V = volume ejecta

σ = densitas rata-rata

T = temperature lava

α = specific heat lava, $0,25 \text{ cal/gr } ^{\circ}\text{C}^{\circ}$

β = panas laten lava, 50 cal/gr

J = kerja yang setara dengan panas, $4,1855 \cdot 10^7 \text{ ergs}$

Untuk suhu rendah ($< 1000^{\circ}\text{C}$) persamaannya menjadi :

$$E_{th} = V\sigma T\alpha J \quad (8)$$

dimana :

E_{th} = energi thermal

V = volume ejecta

σ = densitas rata-rata

T = temperature lava

α = specific heat lava (ketika $T=800^{\circ}\text{C}$, $\alpha=0,25 \text{ cal/gr } ^{\circ}\text{C}^{\circ}$ dan saat $T=300^{\circ}\text{C}$, $\alpha=0,20 \text{ cal/gr } ^{\circ}\text{C}^{\circ}$)

J = kerja yang setara dengan panas, $4,1855 \cdot 10^7 \text{ ergs}$

Selama periode erupsi tahun 1800-2012, gunung Merapi mengeluarkan energi thermal sebesar $4,31282 \times 10^{22} \text{ ergs}$. Oleh karena itu, energi total erupsi gunung Merapi dari tahun 1800 hingga 2012 sebesar $4,41272 \times 10^{22} \text{ ergs}$.

KESIMPULAN

1. Runtun waktu erupsi gunung Merapi mempunyai karakteristik stokastik acak, dengan cacah erupsi sebagai fungsi waktu istirahat mempunyai distribusi statistik eksponensial dan fungsi PDF Poissonian.
2. Koefisien atenuasi cacah erupsi fungsi waktu istirahat gunung Merapi sama dengan 0,1603

per tahun atau nilai menengah waktu istirahat 6,24 tahun.

3. Indeks letusan VEI tidak berkorelasi dengan *repose time* atau dengan kata lain VEI dan *repose time* saling independen. Hal ini disebabkan karena masing-masing gunungapi mempunyai karakteristik dan komposisi kandungan magma yang berbeda-beda. Selain itu, ada faktor lain yang dapat mempengaruhi besarnya letusan seperti adanya pengaruh tekanan gas dari dalam, adanya gempa tektonik, topografi, dsb.
4. Probabilitas erupsi gunung Merapi pada tahun 2013 berdasarkan distribusi eksponensial sebesar 76,74 %. Distribusi Weibull memberikan probabilitas erupsi sebesar 63,5 % sedangkan distribusi Log-Logistik memberikan probabilitas erupsi sebesar 64,04 %. Probabilitas erupsi gunungapi $> 50 \%$, sehingga perlu diwaspadai resiko yang harus ditanggung (*value at risk*).
5. Erupsi gunung Merapi selama periode 1800-2012, mengeluarkan energi potensial rata-rata sebesar $9,99039 \times 10^{20} \text{ ergs}$ dan energi thermal rata-rata sebesar $4,31282 \times 10^{22} \text{ ergs}$. Oleh karena itu, energi total erupsi gunung Merapi dari tahun 1800 hingga 2012 sebesar $4,41272 \times 10^{22} \text{ ergs}$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam menyelesaikan makalah ini penulis telah banyak mendapatkan arahan, bantuan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Prof Dr. H Kirbani S. B serta teman-teman yang selalu memberikan motivasi.

REFERENSI

- Admin. 2013. Gunung Merapi Erupsi. Tersedia pada : <http://id-wal.com/gunung-merapi-erupsi.html>. Diakses pada tanggal 21 September 2013.
- Badan Geologi, 1979, *Data Dasar Gunung api Indonesia*. Kementrian ESDM hal. 342-346.
- Bebbington, M. S and Lai, C. D, 1996a, Statistical Analysis of New Zealand Volcanic Occurrence Data, *Journal of*

- Volcanology and Geothermal Research Vol. 74, p. 101-110.
- Bebbington, M. S and Lai, C. D, 1996b, On Nonhomogenous Models for Volcanic Eruptions, *Math. Geol.* 28/5, p.585-600 .
- Dzierma, Yvonne and Wehrmann, Heidi, 2010, Eruption Time Series Statistically Examined : Probabilities of Future Eruptions at Villarica and Llaima Volcanoes, Southern Volcanic Zone, Chile, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 193, 82-92.
- Ho, C. H, 1991, Time Trend Analysis of Basaltic Volcanism for The Yucca Mountain Site, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* Vol. 46, p. 61-72.
- Kirbani, S.B and Wahyudi, 2007, Erupsi Gunungapi Kelud dan Nilai-b Gempa Bumi di Sekitarnya, *Laboratorium Geofisika UGM*, Yogyakarta.
- Simkin, T. and Siebert, L., 1984, Explosive Eruptions in Space and Time: Durations, Intervals, and a Comparison of the Worlds Active Volcanic Belts. In Boyd, R. F. (ed) *Explosive Volcanism: Inception, Evolution, and Hazards*, National Academy Press, Washington, D. C., 110-121.
- Simkin, T. and Siebert, L., 1994, *Volcanoes of the World*, 2nd Edition, Geoscience Press, Tucson.
- Watt, S. F. L, Mather, T. A., Pyle, D. M, 2007, Vulcanian Explosion Cycles : Patterns and Predictability, *Geology* 35/9, p. 839-842, doi : 10.1130/G23562A.1.
- Wickmann, F.E., 1965, Repose Period Pattern of Volcanoes II. Eruption Histories of some Indian Volcanoes, *Arkiv Foer Mineralogi Och Geologi*, Band 4 Nr 6, Uppsala.
- Yokoyama, Izumi, 1956, *Energetics in Active Volcanoes*, Earthquake Research Institute.